

## Progetto di un APR Low Cost

Gabriele Vozza

Via Umbria n.192 c.a.p. 74121 Taranto, 3283539727, vozzagabriele@gmail.com

### Riassunto

L'obiettivo del presente lavoro è quello di progettare, realizzare e testare un nano-APR a basso costo da poter destinare al rilievo videografico di dettagli architettonici. Il progetto si compone di tre parti: scelta delle componenti più idonee, calcolo della portanza richiesta e verifica di compatibilità delle componenti selezionate. Dopo la progettazione del velivolo è stato effettuato l'assemblaggio delle varie componenti e grazie ad alcuni test di volo si è arrivati ad ottenere un mezzo avente volato stabile, capace di effettuare riprese video. Per verificare la qualità delle immagini è stato effettuato un test di ripresa di un gruppo di modellini di abitazione i cui fotogrammi sono stati successivamente elaborati per produrre dei fotopiani.

### Abstract

*The goal of this work is to design, build and test a low cost nano-UAV that can be used for the videographic survey of architectural details. The project consists of three parts: the choice of the most suitable components, the evaluation of the requested lift and the verification of the selected components' compatibility. After having designed the aircraft, his various components have been assembled and after some flight testing we have obtained a vehicle that can fly in a stable way while shooting video. To check the quality of the images, a test shot with scale models was performed. The frames were subsequently processed to produce some photoplanes.*

### 1 Introduzione

Secondo l'attuale regolamento ENAC un APR (Aeromobile a Pilotaggio Remoto) è un mezzo aereo a pilotaggio remoto senza personale a bordo che può trasportare varie tipologie di carichi utili definiti *Payloads*, capaci di consentire diverse tipologie di missioni, cioè operazioni o lavori, all'interno o all'esterno.

La tecnologia APR si afferma dapprima in campo militare, principalmente con velivoli ad ala fissa capaci di volare ad alta velocità coprendo grandi distanze, impiegati principalmente per svolgere operazioni di ricognizione, raccolta dati d'*intelligence*, inganno radar, acquisizione di bersagli e abbattimento di obbiettivi.

I primi esperimenti in ambito civile, legati al rilievo del territorio, risalgono al 1979 e furono condotti da Przybilla e Western-Ebbinghaus che, usando un modello di aereo lungo 3 metri e con un carico utile di 3 kg, acquisirono una serie di immagini fotografiche di aree archeologiche, manufatti architettonici e zone in costruzione. Questa prima serie di esperimenti misero in luce due problemi: le immagini acquisite risultavano spesso mosse a causa delle vibrazioni che il motore trasmetteva alla macchina fotografica ed il modello ad aereo scelto per i test richiedeva piste sufficientemente lunghe per effettuare il decollo e l'atterraggio. Sulla scorta di queste osservazioni nel 1980 Western-Ebbinghaus avviò un'altra serie di esperimenti usando questa volta un elicottero con pareti isolate con il polistirolo per compensare le vibrazioni interne.

L'uso del modello ad elicottero si diffuse in ambito civile aereo e nel 1997 si assistette ad un importante avanzamento tecnologico, grazie all'introduzione sul mercato dell'elicottero *RMAX Aero Robot* della Yamaha. L'*RMAX* nel 2001 venne usato con successo dal *Japan Miyatsuka Institute of Archeology* per il rilievo fotografico aereo di una enorme fortezza cinese. Nel 2002 l'*RMAX* fu

anche protagonista di due test in Svezia volti a verificare l'accuratezza del sistema GPS montato a bordo del velivolo.

Nel 2005 viene compiuto un ulteriore passo avanti tecnologico con la messa in commercio del *X-UFO* uno dei primi multicotteri commerciali (in questo caso un quadricottero). Nei successivi anni i multicotteri si sono affermati sempre più in ambito civile per via della loro maggior stabilità di volo, per la possibilità di potersi fermare a mezz'aria, per la facilità di pilotaggio e per la maggior sicurezza offerta dal poter distribuire l'energia cinetica (utile al sostentamento di un modello monorotore) su più eliche di dimensioni minori.

Attualmente gli APR, oltre al rilievo topografico, hanno trovato molte altre applicazioni civili come: l'acquisizione di dati ambientali e meteorologici, la sorveglianza e la realizzazione di riprese fotografiche e cinematografiche.

Il mercato sviluppatosi intorno agli APR civili è sicuramente destinato a crescere tant'è che se nel 2012 gli analisti dell'*ASD Reports* stimarono un mercato di 7 miliardi di dollari, altri studi di settore hanno previsto per il 2021 un possibile mercato del valore di 130 miliardi.

## **2 Inquadramento generale del regolamento ENAC sui mezzi aerei a pilotaggio remoto**

In ottemperanza al Decreto Legislativo n. 250 del 25 Luglio 1997, in Italia l'ente preposto alla regolazione tecnica, alla certificazione, alla vigilanza e al controllo del settore riguardante l'aviazione civile è l'ENAC (Ente Nazionale Aviazione Civile).

L'iter per arrivare alla stesura finale del regolamento sugli APR è iniziato nel 2013 con l'emanazione di una prima bozza di regolamento. Successivamente l'ENAC ha indetto diversi *workshop* per ascoltare le esigenze dei vari operatori del settore per poi pubblicare, il 16 Dicembre 2013, la versione finale del regolamento, entrato poi in vigore il 30 Aprile 2014.

Osservando il regolamento nel suo insieme, è possibile notare come si componga di 26 articoli divisi in 6 sezioni e che disciplini sia gli aeromobili a pilotaggio remoto che gli aeromodelli. Il legislatore fa poi una ulteriore distinzione tra gli APR con un peso inferiore a 25 kg e quelli con peso superiore a 25 kg; su questa divisione si basa un sistema di agevolazioni che prevede una serie di autocertificazioni per gli APR con peso inferiore a 25 kg ed operanti in zone non critiche e un'autorizzazione ENAC per gli stessi APR che invece opereranno in zone critiche.

Per gli APR che invece superano i 25 kg di peso viene prevista sia una certificazione di aeronavigabilità che un'autorizzazione all'impiego da parte dell'operatore aereo, questo è richiesto a prescindere dalla criticità delle operazioni di volo.

È quindi possibile riscontrare come la ratio usata del legislatore sembra essere in linea con l'approccio "flessibile" usato in ambito europeo. La possibilità dell'autocertificazione per gli APR più piccoli e coinvolti in operazioni non critiche costituisce, inoltre, una forte spinta all'introduzione di questi ultimi nelle applicazioni civili permettendo quindi di sbloccare il mercato da un punto di vista legislativo.

## **3 Progetto di un nano-APR Low Cost**

Si è progettato e sperimentato un quadricottero a basso costo prevedendo un tetto massimo di spesa inferiore ai 100 € appartenente alla categoria dei nano APR con peso al decollo molto basso. L'APR è in grado di volare in modalità manuale ed il carico utile è costituito da una piccola video camera in grado di raccogliere immagini video.

Le componenti scelti per realizzare il sistema sono:

- una scheda per il controllo del volo per quadricotteri
- quattro regolatori di velocità (integrati sulla scheda)
- una batteria a polimeri di litio
- una micro camera
- un *frame*
- quattro motori con le rispettive eliche capaci di ruotare a coppie di due in senso orario (CW) ed antiorario (CCW)
- una trasmittente

Il problema progettuale alla base di un quadricottero è caratterizzato da tre parti fondamentali; la prima in cui vengono selezionate individualmente le parti elettroniche più idonee per la costruzione del velivolo desiderato, in base a considerazioni economiche e legate alla missione da svolgere; la seconda in cui, ipotizzando il peso finale del velivolo, si seleziona un gruppo propulsore (motore ed eliche) in grado di rendere possibile il volo ed una terza parte in cui si verifica, a valle delle scelte effettuate, che il sistema APR funzioni in maniera organica.

### 3.1 Componentistica elettronica

Nella definizione delle componenti elettroniche la prima scelta da effettuare riguarda la scheda di controllo volo anche detta *flight control board*. Questa è una scheda elettronica capace di interpretare i comandi del pilota e tradurre gli stessi in manovre di volo per i regolatori di velocità e quindi per i motori. Sulla scheda di controllo sono integrati una serie di sensori quali: giroscopi, accelerometri, barometri, magnetometri e GPS. Ognuno di questi sensori è in grado di garantire alcuni vantaggi nel pilotaggio del velivolo. I giroscopi ed accelerometri sono indispensabili ed insostituibili per volare tanto che questi tipi di sensori sono preinstallati sulla maggior parte delle schede di controllo. Il barometro consente all'APR di mantenere la quota costante, il magnetometro garantisce l'auto-orientamento del mezzo mentre il sistema GPS, a seconda della complessità, rende possibile: il rimanere fermo in volo senza l'intervento del pilota, il ritorno alla base di decollo in maniera automatica e la possibilità di eseguire, sempre automaticamente, percorsi pre-programmati a terra.

Alla luce di quanto esposto si è scelta una scheda di volo della Hubsan modello H107-A34, capace di garantire, ad un voltaggio operativo di 3,2 – 4,1 V, un sistema di sensori base costituito da giroscopi ed accelerometri con una spesa minima di circa 10 € ed un peso pari a 6 grammi. La scheda inoltre integra al suo interno una ricevente 4 canali operante sui 2,4 GHz per ricevere gli ordini dalla trasmittente a terra e 4 regolatori di velocità operanti a circa 2 A per motori *brushed*. I regolatori di velocità, così come la scheda di controllo, sono, in generale, anch'essi delle schede elettroniche capaci di variare la velocità di rotazione dei motori elettrici e quindi delle eliche permettendo al mezzo gli spostamenti aerei. Per i motori *brushless*, montati sui multicotteri di maggiori dimensioni, i regolatori di velocità vengono acquistati a parte in base all'ampereaggio di lavoro dei motori su cui dovranno operare e costituiscono una parte considerevole del peso da sollevare. I motori *brushed* invece, prevedono che i regolatori siano integrati sulla scheda di controllo sotto forma di *chips* permettendo di ridurre il peso del velivolo.

Tramite il voltaggio operativo della scheda di controllo si può, in prima istanza, ipotizzare quale tipo di batteria a polimeri di litio dovrà essere utilizzata per alimentare l'APR. In questo caso la scheda di controllo richiede un voltaggio di 3,2 – 4,1 Volt, corrispondente ad una batteria costituita da una cella LiPo (1S1P) il cui voltaggio nominale corrisponde a 3,7V cioè 3,2 da scarica e 4,1 da completamente carica. La batteria avrà anche altre caratteristiche: capacità di ampere pari a 380 mAh, capacità di scarica di 25 C ed il peso di 11 grammi. Il costo di tale elemento è stato di circa 2 €. Questa batteria non dovrà essere obbligatoriamente la scelta finale ma è un utile punto di partenza per poter fare stime sul peso finale, inoltre, durante una missione, si deve prevedere anche di usare diverse batterie da intercambiare man mano che queste si esauriscono. È opportuno ricordare che l'esaurirsi delle batterie viene segnalato dalla stessa scheda di controllo tramite led integrati.

Infine quale ultima componentistica elettronica si è scelta una micro camera da installare sul velivolo. La micro camera costituirà il carico utile dell'APR e, benché da un lato non sia strettamente legata alle funzionalità di volo del quadricottero, se non per l'aggravio di peso da sollevare, dall'altro costituisce un elemento indispensabile per portare a termine i lavori di rilievo. Il criterio guida nella scelta della micro camera si basa sulla razionalizzazione del peso dell'oggetto coerentemente con l'ottenere una qualità di ripresa accettabile per le applicazioni desiderate. Seguendo questa regola di carattere generale si è deciso di utilizzare una micro camera SD modello 808 #9 con formato 1280x960 capace di girare a 30 frame al secondo, voltaggio operativo di 3,7 Volt e venduta ad un prezzo di circa 13 €. Il peso della micro camera è di 15 grammi e per motivi di sicurezza durante i test si è operato con la micro camera incapsulata nel proprio con-

tenitore, a tal proposito è opportuno mettere in evidenza come, se si volesse ridurre il peso caricato dall'APR a 10 grammi si potrebbe anche decidere di eliminare l'involucro in plastica della micro camera aumentando però il rischio che questa venga danneggiata durante le fasi di atterraggio.

### 3.2 Componentistica statica

Il *frame* è lo scheletro su cui verranno collocate le parti dell'APR scelte. Nonostante ormai ci sia sempre più spesso la possibilità di acquistarli pre-costruiti, si è deciso, al fine di avere un maggior controllo sul peso finale e per risparmiare sui costi totali, di costruirselo. La struttura, dal peso di circa 5 grammi, è in plastica semi trasparente per non oscurare i led; si compone di un pianetto superiore dalla forma vagamente a quadrifoglio creato con il compito di alloggiare la scheda di controllo, i quattro motori con le rispettive eliche e la batteria, una struttura rettangolare inferiore orizzontale a cui si ancorerà la microcamera e quattro cilindri cavi con il compito di distanziare tra loro le due strutture orizzontali.

Per dimensionare il centro del frame (basetta orizzontale inferiore e centro della superiore) si è fatto affidamento alle misure della scheda di controllo e della micro camera dichiarate dai produttori che, con il loro ingombro, hanno determinato la grandezza di queste parti. Inoltre per questi elementi si è ritenuto come regola di buon senso lasciare almeno 0,5 cm di margine tra il bordo del frame ed i bordi della scheda di controllo per preservare quest' ultima da urti laterali.

Sul dimensionamento dei bracci del frame è stato effettuato un ulteriore studio. Per stabilire la grandezza di questi elementi bisogna necessariamente conoscere le dimensioni delle eliche; i bracci infatti dovranno avere una lunghezza minima tale da evitare che le eliche collidano tra loro durante il loro moto. Teoricamente, le dimensioni delle eliche si possono conoscere solo dopo aver scelto il gruppo propulsore che richiede a sua volta la conoscenza del peso finale del frame. Per superare questa dicotomia si è quindi effettuata una considerazione di natura pratica, poiché infatti le schede ed i diagrammi proposti dai produttori, che legano motori ed eliche alla portanza da essi generata, sono riferiti ad eliche dal diametro di 5,5 cm, si è ritenuto sensato utilizzare questa misura come diametro di riferimento per la determinazione della lunghezza dei bracci del frame. Su queste considerazioni si è deciso di realizzare dei bracci di 3 cm con uno scarto tra le eliche di 1,5 cm.

### 3.3 Componentistica propulsiva

Una volta scelta scheda di controllo, batteria, micro camera e *frame* è stato necessario stabilire quali motori e quali eliche siano più idonei per il volo. Per fare questo si è reso utile il calcolo della portanza necessaria a sollevare il peso dell'APR e poi scegliere quale motore con quale elica in commercio riescono a garantire la spinta necessaria.

Non conoscendo a priori il peso esatto del gruppo propulsore (cioè dei motori e delle eliche) si è ipotizzato inizialmente un peso di 5 grammi a componente (da verificare in seguito), ovvero per ognuno dei quattro motori con le rispettive eliche per un peso totale del gruppo propulsore pari a 20 grammi, sommando a questo il peso dei precedenti componenti si ottiene un peso totale di circa 57 g. Prima di effettuare il calcolo della portanza è opportuno ricordare come in letteratura (Masali, 2014), venga consigliato, al fine di avere un tipo di volato qualitativamente buono, di cercare di ottenere il volo stazionario sfruttando non più del 50% della "manetta" disponibile. Ciò significa praticamente che per volare in sicurezza avremmo bisogno di una spinta totale ( $P_{tot}$ ) pari circa al doppio del peso totale del velivolo, cioè a:

$$P_{tot} = Q_{tot} \cdot 2 = 57 \cdot 2 = 114 \text{ g} \quad [1]$$

La portanza generata dal singolo motore (P) varrà quindi:

$$P = \frac{P_{tot}}{4} = \frac{114}{4} = 28,5 \text{ g} \quad [2]$$

Si è scelto quindi di utilizzare un motore da 8,5 mm della Hubsan (costo dei 4 motori ed eliche di 20 € circa, sono disponibili sul mercato anche motori da 8,5 realizzati per i propri prodotti da Chaoli, Traxxas e Walkera) che, equipaggiato con eliche da 55 mm (prodotte dalla Traxxas e dalla Hubsan), è capace di fornire una portanza di circa 30 g alimentato con 1,78 A pari quindi ad una spinta totale di circa 120 g, valori questi forniti dal produttore oppure rintracciabili su internet presso forum dedicati.

Selezionato quindi un possibile gruppo propulsore bisogna verificare che il peso effettivo del quadricottero sia compatibile con la scelta effettuata. In questo caso specifico il peso effettivo totale del gruppo propulsore è di 20,8 grammi e quindi il peso totale del velivolo corrisponde a 57,8 grammi, peso questo che sfiorando di poco il peso ipotizzato può essere considerato verificato. Un'ulteriore verifica da effettuare è quella sulla batteria, in questo caso i motori scelti hanno un voltaggio operativo di 3,7 Volt compatibile quindi con la batteria ipotizzata così come tutti gli altri componenti scelti. Infine all'APR deve essere associata una trasmittente per permettere il pilotaggio del mezzo da terra, nel caso in esame si è scelto di utilizzare una trasmittente economica (15 € di costo), modello H107-16 della Hubsan (compatibile quindi con la scheda di controllo), operante sui 2,4 GHz a 4 canali i quali costituiscono il numero minimo per poter impartire ordini di volo al mezzo, cioè per i comandi di: imbardata (timone), rollio (alettoni), beccheggio (elevatore) e "gas".

#### 4 Assemblaggio di un nano-APR *Low Cost*

Il collegamento elettrico dei motori alla scheda di controllo viene eseguito mediante l'uso di saldature a stagno. È importante ricordare come queste saldature debbano essere eseguite a regola d'arte evitando le cosiddette "saldature fredde" che metterebbero a rischio i collegamenti creati che, in caso di scollegamento anche di un solo motore, porterebbero il quadricottero a precipitare.

Capire su quale punto della scheda di controllo saldare ogni motore è quasi immediato poiché sul retro della scheda vengono esplicitamente indicati i punti in cui saldare i cavi dei motori con la corretta polarità da rispettare, dettaglio questo che assicura che tutti i motori ruotino nel senso corretto (orario e antiorario). Il frame viene realizzato tramite intaglio di una lastra in plastica utilizzando come base di partenza il pattern in carta in scala 1:1 realizzato in CAD.

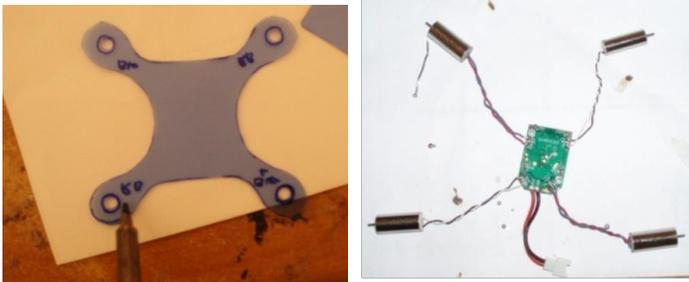


Figura 1 – Alcuni momenti di assemblaggio dell'APR.

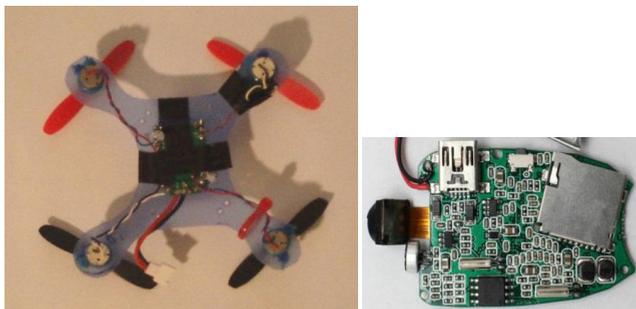


Figura 2 – Frame e componenti elettroniche montate e dettaglio della videocamera scapsulata.

Costruito il frame su di esso vengono montanti, per mezzo di viti, fasce in plastica e colle, la scheda di controllo, i motori e la videocamera. Le eliche, per motivi di sicurezza, sono le ultime parti ad essere montate. Bisogna ricordare, inoltre, che le eliche capaci di generare portanza ruotando in senso antiorario andranno montate sui motori che ruotano in senso antiorario e viceversa quelle che devono ruotare in senso orario, se ciò non venisse fatto il gruppo propulsore genererebbe una spinta verso il basso e non verso l'alto.

Alla fine della costruzione l'APR risultava così performato (figura 3):



Figura 3 – Immagine del nano - APR realizzato e della trasmittente.

Dopo aver verificato che tutto funzioni perfettamente ed aver calibrato gli accelerometri a terra, sono stati eseguiti alcuni voli di prova indoor per impostare i compensatori di volo e calibrare la sensibilità dei comandi al fine di trovare una modalità di pilotaggio. Di seguito vengono quindi riportate alcune fotografie dei voli effettuati (figure 4 e 5).



Figura 4 – Alcune immagini dell'APR (contrassegnato con circoletto rosso) in volo



Figura 5 – Alcune immagini dell'APR (contrassegnato con circoletto rosso) in volo durante le riprese.

## 5 Test di ripresa

Per valutare la qualità delle immagini ottenibili, è stato effettuato un test di ripresa video di un piccolo gruppo di modellini di palazzi collocati in piano con alle spalle uno sfondo neutro nero. Durante le riprese l'APR si è cimentato in volo radente (ma con una altezza tale da non incorrere in *ground effect*) con lo scopo di acquisire immagini video della facciata dei modellini. I video girati sono stati in seguito importati in un programma di elaborazione video, nel nostro caso *Sony Vegas*, sono stati rallentati e da essi sono stati estratti alcuni frame significativi.

Di questi frame, lavorando su di essi come se fossero immagini fotografiche, si sono realizzati dei fotopiani tramite il software *RDF*. Dei frame raccolti è stato creato sia un fotopiano generale che un fotopiano specifico per ogni palazzo interamente ripreso nel frame. Di seguito vengono quindi riportate alcune tra le immagini raccolte ed elaborate (figure 6 e 7).



Figura 6 – Immagine comparativa del frame raccolto e del fotopiano prodotto.



Figura 7 – Particolare dell'immagine comparativa del frame raccolto e del fotopiano prodotto.

## 6 Conclusioni

L'esperienza condotta ha permesso di affrontare le problematiche pratiche derivanti dalla progettazione e dalla costruzione di un nano-APR permettendo di acquisire conoscenze applicabili, con pochi accorgimenti, anche alla costruzione di APR appartenenti a differenti categorie quali ad esempio quelle micro e mini. Inoltre, nonostante l'APR costruito funzioni correttamente, bisogna effettuare una riflessione sulle reali potenzialità di applicabilità in voli *outdoor*. Infatti i punti di forza dei nano APR, cioè leggerezza e piccole dimensioni sono anche due punti deboli in caso di applicazione in voli all'esterno. La leggerezza infatti rende il mezzo troppo influenzabile dalle correnti atmosferiche che ne disturberebbero la rotta di volo e le qualità delle riprese, inoltre le piccole dimensioni divengono un ostacolo alla visione del velivolo e alla determinazione della prua del mezzo a diversi metri di distanza dal pilota. Per questo motivo si ritiene debbano essere utilizzati APR di dimensioni maggiori come quelli appartenenti alle categorie micro e mini, l'aumentare delle dimensioni permetterebbe anche alcune importanti implementazioni della

componentistica di bordo come ad esempio la dotazione di una scheda di controllo con sistema GPS che faciliterebbe in maniera determinante il pilotaggio del velivolo permettendo allo stesso di poter percorrere con precisione note rotte pre impostate e di poter rimanere fermo in volo, di poter usufruire di fotocamere più performanti come quelle offerte dalla GoPro con annesso *gimbal* per smorzare in maniera considerevole le possibili vibrazioni, motori ed eliche più potenti capaci di portare il velivolo a quote maggiori (comparabilmente ai limiti di legge) e batterie più performanti.

### Riferimenti Bibliografici

- Bellotto A., Nozioni di Aerodinamica “Ala fissa ed ala rotante”,  
[www.elicotterienavi.com/aerodinamica/indice\\_nozioni.htm](http://www.elicotterienavi.com/aerodinamica/indice_nozioni.htm)
- Boggi S. (2003), Appunti di aerotecnica degli elicotteri. L'elicottero in parole semplici, IBN
- Ciolfi B. (2013), Droni, il business civile degli Uav, Lettera 43,  
[http://www.lettera43.it/economia/industria/droni-il-business-civile-degli-uav\\_4367596718.htm](http://www.lettera43.it/economia/industria/droni-il-business-civile-degli-uav_4367596718.htm)
- Di Loreto M. (2006), Impiego joint e combined di Unmanned Aerial Veichles (UAV): stato dell'arte e prospettive future di impiego, Centro Militare di Studi Strategici,  
[www.difesa.it/SMD\\_/CASD/IM/CeMISS/Pubblicazioni/Documents/33777\\_Ric\\_MDLpdfpdf.pdf](http://www.difesa.it/SMD_/CASD/IM/CeMISS/Pubblicazioni/Documents/33777_Ric_MDLpdfpdf.pdf)
- Eisenbeiss, H.(2004), A mini Unmanned Aerial Vehicle (UAV): System overview and image acquisition,  
 International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI-5/W1, (CD-ROM).
- ENAC (2013), Regolamento mezzi aerei a pilotaggio remoto,  
[www.enac.gov.it/La\\_Normativa/Normativa\\_Enac/Regolamenti/Regolamenti\\_ad\\_hoc/info-122671512.html](http://www.enac.gov.it/La_Normativa/Normativa_Enac/Regolamenti/Regolamenti_ad_hoc/info-122671512.html)
- Ephraim F. (2012), Photogrammetric methods for the reconstruction and monitoring of glaciers, ETH-Zurich-VAW-IGP,  
[www.igp.ethz.ch/photogrammetry/education/oldstudentsprojects/MA\\_Report\\_EFriedli\\_final.pdf](http://www.igp.ethz.ch/photogrammetry/education/oldstudentsprojects/MA_Report_EFriedli_final.pdf)
- Guerra F. Mander S. Miniutti D. (1999), RDF Software, [circe.iuav.it/labfot/software/soft\\_rdf.html](http://circe.iuav.it/labfot/software/soft_rdf.html)
- Masali L. (2014), Quadricotteri, multirotori e droni. Guida pratica all'uso dei piccoli droni civili, DronEzine - L'Aeroplanino editore
- Mingiardi G.B. (2001), Principi di aerodinamica e teoria del volo degli elicotteri, IBN
- Reis A., Multirotori 101, Creative Commons, [www.baronerosso.it](http://www.baronerosso.it)
- Remondino F, Nex F, Sarazzi D. (2011), Piattaforme UAV per applicazioni geomatiche, GEOmedia, 6: 28-32
- Speziali R., Appunti di dinamica del volo,  
[www.clubarrow.it/attachments/137\\_appunti%20dinamica.pdf](http://www.clubarrow.it/attachments/137_appunti%20dinamica.pdf)
- Trebbi R. (1999), Il volo ultraleggero, Aviabooks, Torino